



PKE-LAITTEEN ESISELVITYS

Pienkiinteistöjen sähkö- ja lämpöenergiantuottolaite

TEKIJÄ: Henrikki Kosunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Henrikki Kosunen	
Työn nimi PKE-laitteen esiselvitys	
Päiväys 1.6.2015	Sivumäärä 33
Ohjaaja Lehtori Jari Ijäs	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) FM Ilkka Korhonen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin PKE-laitteen (penkiinteistöjen sähkö- ja lämpöenergiantuottolaite) tekniset toteutusmahdollisuudet ja tarkasteltiin toteutus vaihtoehtoja taloudellisesta näkökulmasta. Tarkoituksena oli saada käsitys siitä, miten ja millä kustannuksilla PKE-laite olisi mahdollista toteuttaa penkiinteistöjen käyttöön ja onko toteuttaminen ylipäättään järkevää. Selvitys tehtiin lukemalla aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja opinnäytetöitä. Tarkoituksena oli selvittää, millä komponenteilla saadaan toteutettua hyvä ratkaisu investointi-, huolto- ja elinkaarikustannusten kannalta siten, että energiantuottohyötysuhde olisi mahdollisimman suuri.</p> <p>Työssä selvitettiin penkiinteistöjen energiankulutusta ja kulutusprofiileja eli sitä, miten paljon energiaa kuluu kiinteistössä sähköön ja lämpöön. Lisäksi selvitettiin laitteeseen soveltuvien komponenttien tyypit, hyötysuhteet sekä ominaisuudet. Lisäksi selvitettiin eri akkutekniikoita ja akkujen ominaisuuksia ja käyttöastetta. Energiankulutusprofiilien avulla saatiin mitoitettua akkujen, varaajan ja voimakoneen suhteet sopiviksi. Lisäksi laskettiin PKE-laitteen investointi- ja elinkaarikustannukset.</p> <p>Opinnäytetyön selvityksen perusteella PKE-laite on erinomainen vaihtoehto penkiinteistön varavoimaksi tai pääenergiantuottajaksi sijainteihin, joissa ei ole yleistä jakeluverkkoa saatavilla tai verkkoon liittäminen on erittäin kallista. PKE-laitteen investointikustannukset ovat 8 000 – 11 000 € laitteen koon ja käyttöasteen. Laitteen elinkaarikustannukset ovat 30 vuodessa halvimmillaan noin 130 000 €. PKE-laitteen energian hinta polttoöljyä käytettäessä on noin 21 snt/kWh.</p>	
Avainsanat Varavoima, generaattori	
Luottamuksellisuus Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Henrikki Kosunen			
Title of Thesis Preliminary Study of Micro-CHP (combined heat and power production) Device			
Date	1 June 2015	Pages	33
Supervisor Mr Jari Ijäs Lecturer			
Client Organisation /Partners FM Ilkka Korhonen			
<p>Abstract</p> <p>The subject of this thesis was to study technical and economical possibilities to construct a micro-CHP (combined heat and power production) device. The purpose was to solve how much a micro-CHP device costs and how to construct it for the use in small houses. The thesis was done by reading related literature and other theses made on this topic. The idea was solve which are the components a CHP device can consisted of and what is a good solution in terms of investment, maintenance and life-cycle costs. The purpose was to get an optimal efficiency of heat and electric production.</p> <p>The thesis investigated energy consumption profiles i.e. how much energy is consumed for electricity and heating in small houses. With these energy consumption profiles batteries, the water tank and generator sizes were dimensioned. The thesis studied the types, efficiencies and features of suitable device generators. A variety of battery technologies, properties and their utilization were studied. In addition the investment and life cycle costs were calculated.</p> <p>This micro-CHP device is a really good device as back-up power or in houses where the electricity grid does not exist or the connection to the grid is really expensive. The investment costs of a micro-CHP device are from 8 000 to 11 000 € depending on the size of the device. Life cycle costs are about 130 000 € in 30 years. The energy price of a micro-CHP device with fuel oil is 21 cents/kWh.</p>			
Keywords Back-up power, generator			
Confidentiality Public			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä työn tilaajan FM Ilkka Korhosen kanssa Kuopiossa 13.3 – 29.5.2015 välisenä aikana. Haluan kiittää yhteistyössä olleita Lehtori Jari Ijätä ja opinnäytetyön tilaajaa FM Ilkka Korhosta.

Erityiskiitoksen haluan antaa vaimolleni, joka on jaksanut kannustaa koko työn tekemisen ajan.

Kuopiossa 1.6.2015.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	PIENKIINTEISTÖJEN ENERGIAKULUTUS	7
2.1	Energiankulutusprofiilit esimerkkikohteissa	7
2.1.1	Esimerkkikohde 1	7
2.1.2	Esimerkkikohde 2	9
2.1.3	Esimerkkikohde 3	10
2.1.4	Esimerkkikohde 4	11
2.1.5	Esimerkkikohteiden yhteenveto	12
2.2	Suomalaisten pienikiinteistöjen keskikulutus	13
3	ENERGIANTUOTTOLAITE	14
3.1	Moottorit	15
3.1.1	Diesikäyttöiset moottorit	15
3.1.2	Polttoainevaihtoehdot	16
3.2	Generaattorit	16
3.3	Invertterit ja taajuusmuuttajat	17
3.4	Akut	17
3.4.1	Litiumioniakut	18
3.4.2	AGM-akut	18
4	PKE-LAITTEEN VERKKOON LIITTÄMINEN	18
4.1	Generaattoreiden suojaus	19
5	LAITEKOMBINAATIOT	21
6	PKE-LAITTEEN MITOITUS	23
7	KUSTANNUKSET	26
7.1	Investointikustannukset	26
7.2	Elinkaarikustannukset	27
7.3	Energian hintakustannus	27
8	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	31

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaaja on Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkija FM Ilkka Korhonen. Aihe liittyy Korhosen henkilökohtaisesti esittämään hahmotelmaan PKE-laitteesta (pienkiinteistöjen sähkö- ja lämpöenergiantuottolaite). Laitteen etuna on, että kiinteistöön ei välttämättä tarvita erillistä sähköliittymää ja laite toimii sääoloista riippumatta toisin kuin aurinkosähkö- tai tuulivoimalaitteet.

Tavoitteena on selvittää PKE-laitteen sopivuutta pienkiinteistöjen energiantuotantoon. Laitteella on tarkoitus tuottaa sähköä polttoainegeneraattorilla, jossa on lämmön talteenotto. Laitetta voidaan käyttää vesivaraajalla varustettujen kiinteistöjen pää-, rinnakkais- tai varaenergialähteenä. Laitteen energianlähteenä käytetään kevyttä polttoöljyä, maakaasua tai myöhemmin biokaasua ja biopolttonesteitä. Laitteen akustoa voidaan käyttää sähköön varastointiin ja puskurointiin, joten laitetta voidaan hyödyntää syklisesti lämpö- ja sähköenergiantarpeen mukaan.

Opinnäytetyössä selvitetään kirjallisuuden avulla ensin pienkiinteistöjen energiankulutusta ja otetaan esimerkeiksi neljä energiankäyttöprofiilia PKE-laitteen lämmön- ja sähköntuotannon kokonaistarpeen ja suhteen vaatimusten määrittämiseksi. Sitten esitellään PKE-laitteen komponentit ja niiden oleelliset ominaisuudet systeemin kannalta. Lisäksi etsitään optimaalisin laitekombinaatio ja käydään läpi laitteen mitoitus yleisesti ja suhteessa esimerkkikohteisiin. Tämän perusteella lasketaan investointi-, huolto- ja elinkaarikustannukset PKE-laitteelle. Työn lopussa on yhteenveto selvityksen tuloksista.

Tässä opinnäytetyössä ei tarkastella PKE-laitteen ohjausjärjestelmää tai sen käyttöliittymää. Työssä ei myöskään tarkastella lämmön talteenottoa tarkasti, vaan arvioidaan lämmön talteenoton hyötysuhde.

2 PIENKIINTEISTÖJEN ENERGIAKULUTUS

Pienkiinteistöjen energiankulutus koostuu kiinteistön lämmityksestä, käytetyn veden lämmityksestä ja käyttösähköstä eli kotitalouden sähkölaitteiden käyttämästä energiasta (esim. kodinkoneet ja valaistus). Energiankulutusprofiili koostuu näistä kolmesta kulutuksesta jaettuna tietyllä ajanjaksolla. Työssä käytetään tuntikohtaisia arvoja energiakulutusprofiilin määrittämiseksi.

Energiankulutusprofiilit vaikuttavat tarvittavaan PKE-laitteen kokoon ja käyttösykliin. Ensin perehdytään neljään esimerkkikohteeseen, jotka pohjautuvat Oksaharjun vuonna 2014 tekemään tutkimukseen ”Tutkimus uusien omakotitalojen energiankulutuksesta” ja sitten verrataan niitä yleiseen energiankäyttöön suomalaisissa pienkiinteistöissä. Esimerkkikohteet on valittu siten, että ne antaisivat tähän selvitykseen mahdollisimman erilaisia näkökulmia.

2.1 Energiankulutusprofiilit esimerkkikohteissa

Energiankulutusprofiileilla esitetä pienkiinteistön tuntikohtaisia kulutuksia päivittäin neljässä esimerkkikohteessa, minkä avulla saadaan mitoitettua PKE-laitteisto sopivaksi kuhunkin kiinteistöön. Energiankulutukset on mitattu talviviikoilta 5 ja 10 sekä kesäviikoilta 26 ja 30. Kohteista tarkastellaan lähemmin energian päivä- sekä viikkokulutusta.

Esimerkkikohteiksi on valittu hyvin erilaisia pienkiinteistöjä. Mukana on maalämmöllä lämmitetty kohde ja kaksi suoralla sähköllä lämmitettyä kiinteistöä. Lisäksi mukana on yksi matalaenergiatalo, jossa lattialämmitys on toteutettu vesikiertoisella takalla ja lisälämmitys hoidetaan tarvittaessa sähköpattereilla.

Alkuperäisessä tutkimuksessa (Oksaharju 2014) ei ole mitattu lämpimän käyttöveden kulutusta vaan ainoastaan kohteiden käyttämä vesimäärä. Kaavaa 1 on käytetty esimerkkikohteiden veden lämmittämiseen käytetyn energian laskemiseksi. Lämpimän käyttöveden kesikulusarvo on 40 % kaikesta vedenkulutuksesta ja energiankulutus voidaan laskea kaavalla (Motiva 2015 a, verkkosivut):

$$Q_{lkv} = 58 \times V_{lkv} \quad (1)$$

jossa

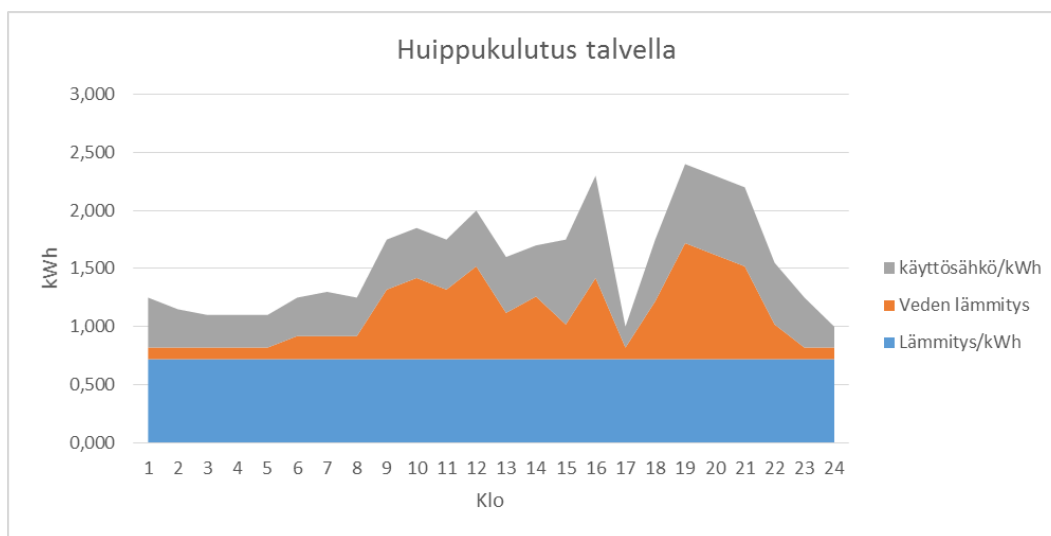
58	veden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä, kWh/m ³
V_{lkv}	kulutetun lämpimän käyttöveden määrä, m ³ /vuosi.

2.1.1 Esimerkkikohde 1

Ensimmäinen kohde sijaitsee Haapavedellä. Kohde on puurakenteinen puolitoistakerroksinen 169 m² omakotitalo. Kohteessa asuu viisihenkinen lapsiperhe. Kohteessa on maalämpö, sekä varaava takka ja puusauna. Keskimääräinen huonelämpötila on 21 - 23 °C. Vuoden 2012 energiankulutus oli 12 400 kWh. Kohteessa kuluu vettä noin 150 m³ vuodessa. (Oksaharju 2014)

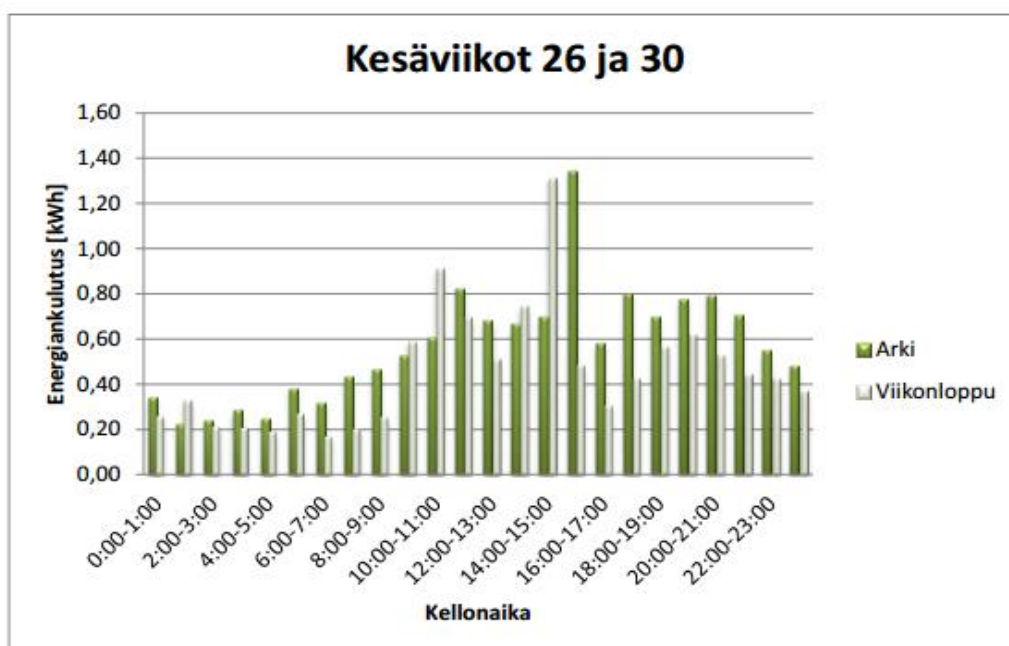
Kaavan 1 mukaan veden lämmitykseen kulutettu vuosienergia kohteessa on 3480 kWh. Lämpimän veden päiväenergia on siten keskimäärin 9,54 kWh.

Kuviosta 1 nähdään esimerkkikohteen tuntikohtainen energian huippukulutus talvella. Energiankulutusprofiilissa huippukulutus esitetään kolmen energiankäyttöosan summana, mutta kuviosta voi tarkastella jokaista osiota myös erikseen. Huippukulutus ajoittuu talviviikonlopulle. Kiinteistön lämmitys kuvataan yleensä vakiona vuorokauden energian minimikulutuksen mukaan (Oksaharju 2014), jos kohteista ei ole saatavilla tarkkaa lämmitykseen kulutettua energiamäärää. Sama periaate toistuu kaikissa esimerkkikohteissa.



KUVIO 1. Kohde 1, tuntikohtainen energiankulutus talvella

Päivittäinen energiankulutus on talvella keskimäärin 32 kWh arkinen sekä 37 kWh viikonloppupäivänä. Näin ollen talviviikon kulutus on yhteensä noin 234 kWh. Kuviossa 1 maalämpöpumpun käyttämä sähköenergia on kuvattu osioissa lämmitys ja veden lämmitys.

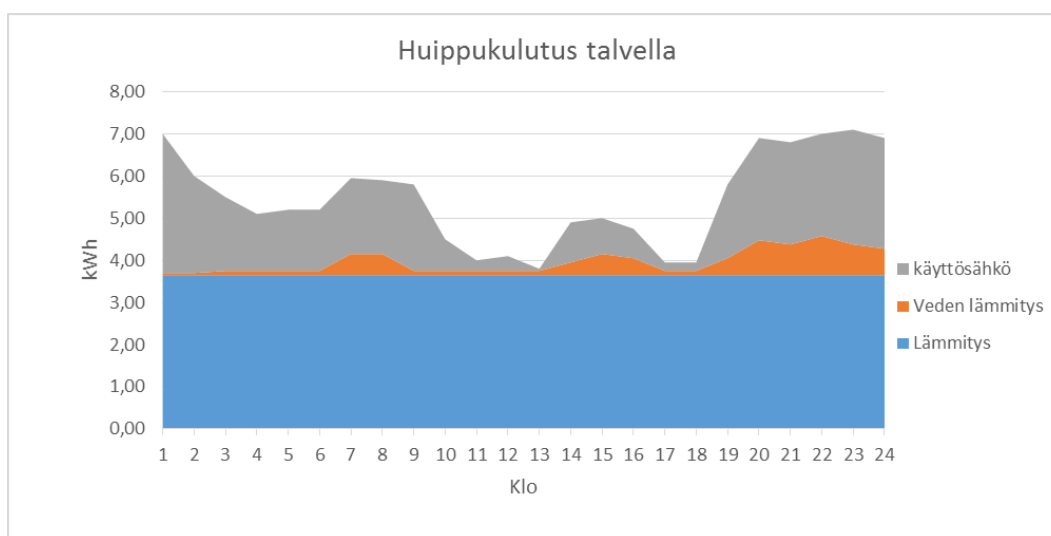


KUVIO 2. Kohde 1, tuntikohtainen energiankulutus kesällä (Oksaharju 2014.)

Kuvion 2 mukaan energiankulutus kesällä on 13,3 kWh arkipäivisin JA 11,2 kWh lauantaisin ja sunnuntaisin. Viikon kulutus kesäisin on yhteensä 89 kWh. Kulutus on suurimmillaan kello 10:n ja kello 21:n välillä. Talvipäivän ja kesäpäivän ero energiankulutuksessa on suurimmillaan 25,8 kWh.

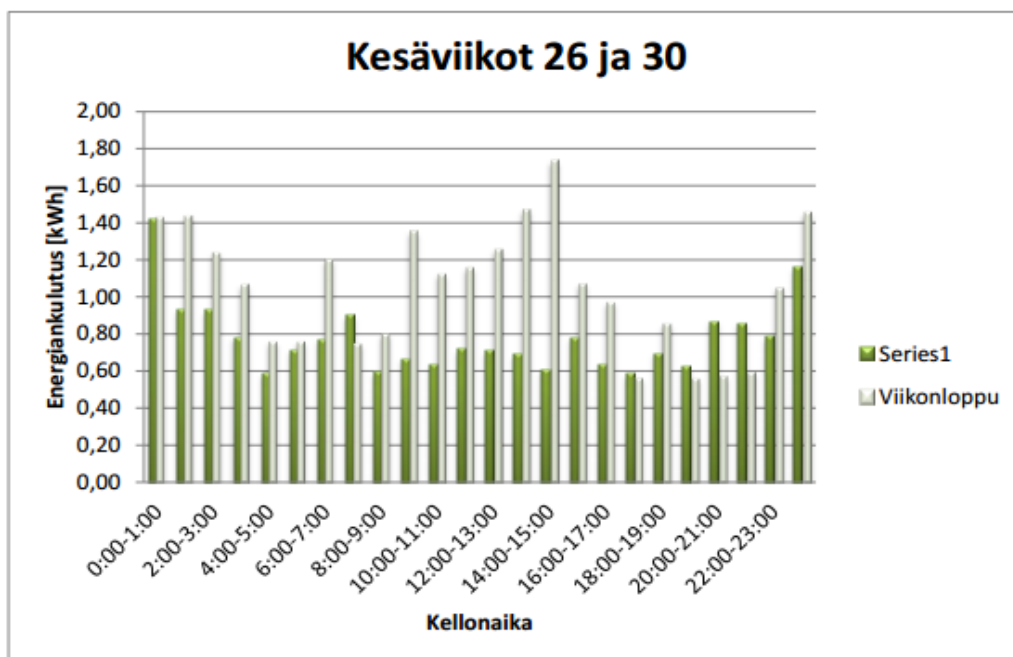
2.1.2 Esimerkkikohde 2

Toinen kohde on Porissa. Talo on vuonna 2011 rakennettu puurakenteinen 166 m² kaksikerroksinen omakotitalo. Kiinteistössä on sähkölämmitys sekä sähkökiuas eikä kulutusta säännöstellä, sillä kulutus on 27 600 kWh vuodessa. Talossa asuu nelihenkkinen lapsiperhe. (Oksaharju 2014)



KUVIO 3. Kohde 2, tuntikohtainen energiankulutus talvella

Päivittäinen kulutus talvella on 112,7 kWh arkena ja 135 kWh viikonloppuna. Viikon kulutus on yhteensä 833,5 kWh. Kuvion 3 huippukulutuksen mukaan lämmittämiseen vuorokaudessa kuluu 87,6 kWh, veden lämmittämiseen 7,6 kWh ja käyttösähkön kulutus on 35,8 kWh.

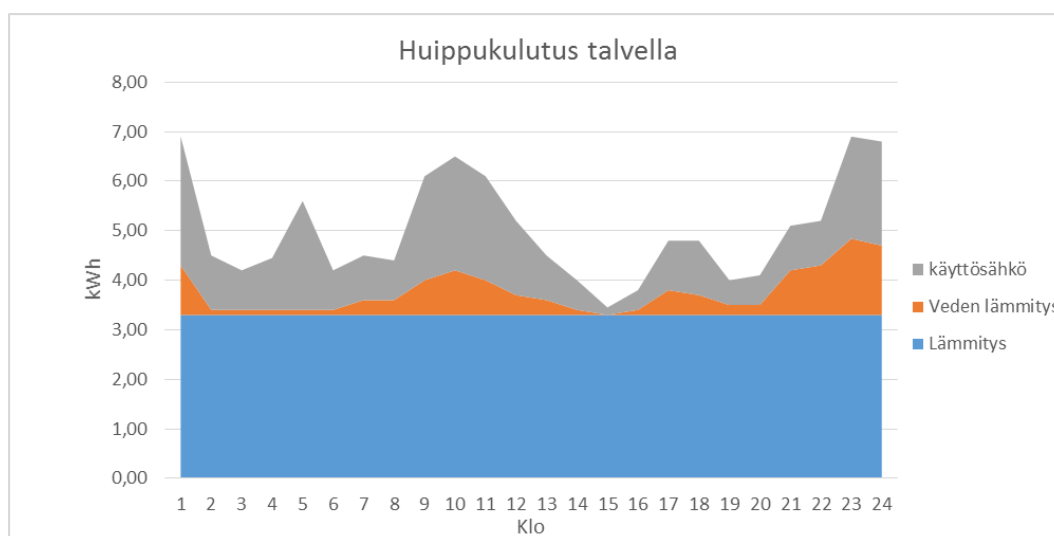


KUVIO 4. Kohde 2, tuntikohtainen energiankulutus kesällä (Oksaharju 2014.)

Kohteen kulutus kesällä on 18,35 kWh arkisin ja 23,75 kWh viikonloppupäivinä. Vettä kuluu 120 m³ vuodessa (Oksaharju 2014). Veden lämmitykseen kuluva vuosienergia on 2 784 kWh (kaava 1) ja vuorokausienergia on 7,63 kWh.

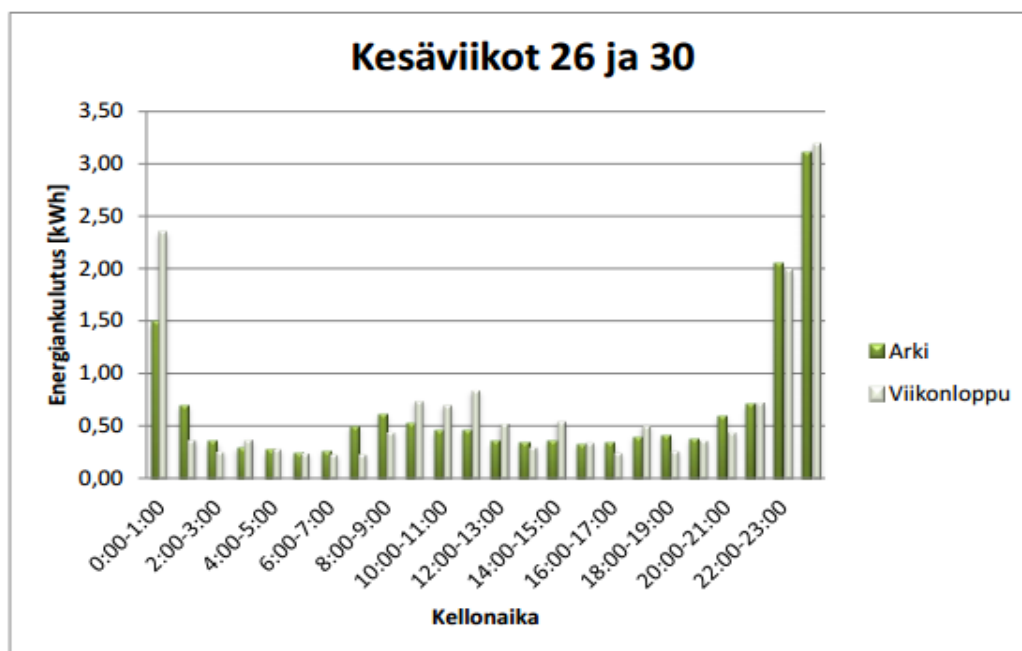
2.1.3 Esimerkkikohde 3

Kolmas kohde on myös Porissa. Talo on 211 m² kaksikerroksinen puurunkoinen omakotitalo. Talossa asuu yhdeksän henkinen lapsiperhe ja sähköä kuluu 25 400 kWh vuodessa. Kohde on sähkölämmitteinen eikä lisälämmitystä käytetä. (Oksaharju 2014.)



KUVIO 5. Kohde 3, tuntikohtainen energiankulutus talvella

Päivittäinen kulutus talvella on yhteensä 107,6 kWh arkena ja 120,3 kWh viikonloppuna. Energiankulutus vuodessa on 2 200 kWh pienempi, kuin esimerkkikohteen 2. Voisi olettaa, että yhdeksänhenkinen perhe kuluttaa enemmän energiaa kuin nelihenkinen perhe. Energiankulutusta ei voida siis suoraan päätellä kiinteistön koon tai asukasmäärän mukaan.

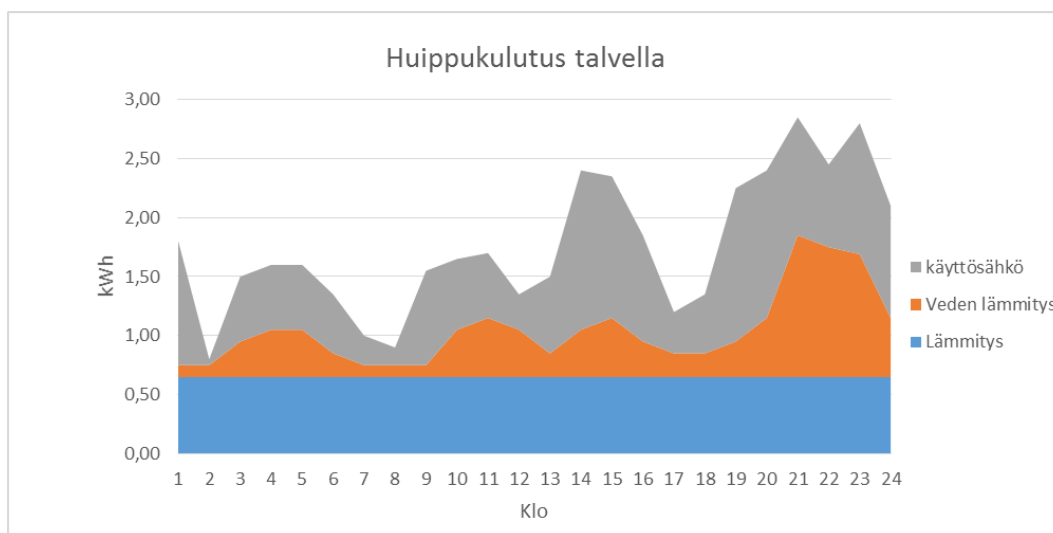


KUVIO 6. Kohde 3, tuntikohtainen energiankulutus kesällä (Oksaharju 2014.)

Energiankulutus kesällä on 15,3 kWh arkisin sekä 16,4 kWh viikonloppupäivisin. Vedenkulutus on 180 m³ vuodessa (Oksaharju 2014) ja veden lämmityksen energiankulutus on 4 176 kWh kaavan 1 mukaan. Veden lämmittämiseen päivässä kuluva energia on 11,44 kWh.

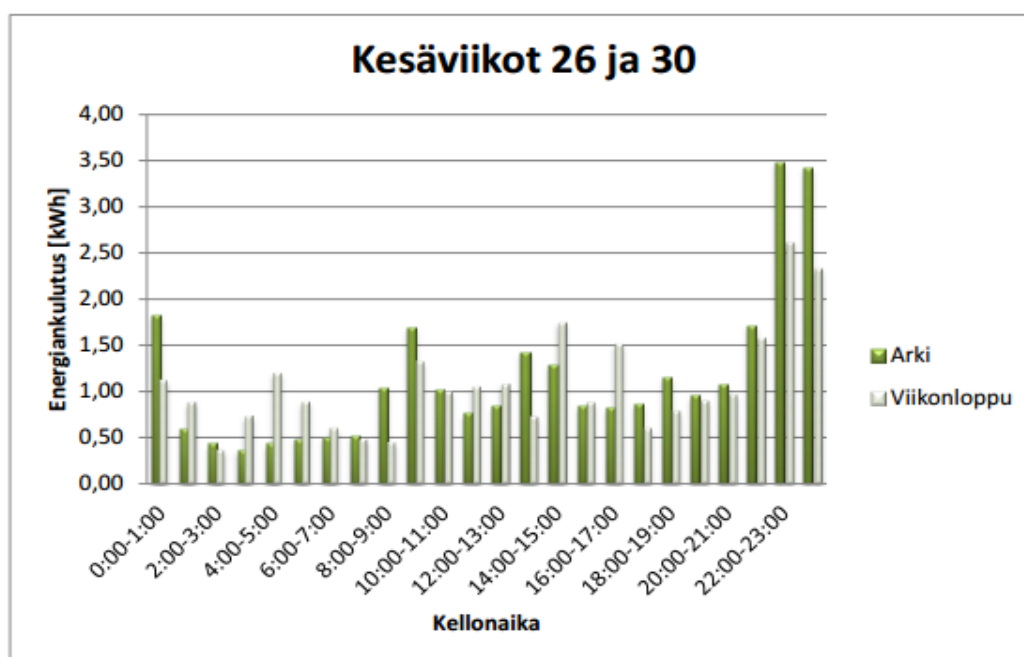
2.1.4 Esimerkkikohde 4

Kohde neljä on Porissa sijaitseva pariskunnan asuttama 150 m² matalaenergiatalo, jossa on sähköpattereiden lisäksi vesikiertoinen takka. Kohteen käyttövesi lämmitetään kuitenkin sähköllä. Vuoden sähkönkulutus on 12 500 kWh. (Oksaharju 2014.)



KUVIO 7. Kohde 4, tuntikohtainen energiankulutus talvella.

Talvi viikon kulutus kohteessa on 39,4 kWh arkisin ja 42 kWh lauantaisin ja sunnuntaisin. Kulutus eroaa huomattavasti muiden esimerkkikohteiden kulutuksesta, takkalämmityksen ja matalaenergiaratkaisuiden vuoksi. Huippukulutuksen aikaan joudutaan kuitenkin turvautumaan sähköpattereihin.



KUVIO 8. Kohde 4, tuntikohtainen energiankulutus kesällä (Oksaharju 2014.)

Kesäviikon päiväkohtainen kulutus on 27 kWh arkena sekä 25,2 kWh viikonloppuna. Vedenkulutus vuodessa on 150 m³ (Oksaharju 2014) ja veden lämmityksen kuluttama energia on 3 480 kWh. Päivässä veden lämmitykseen kuluu keskimäärin 9,54 kWh.

2.1.5 Esimerkkikohteiden yhteenveto

Kohteiden energiankulutukset ovat hyvin tyypillisiä pienkiinteistöjen kulutuslukemia (Adato 2011), vaikka kohteet ovat hyvinkin erilaisia. Maalämpöä ja vesikiertoista takkaa käyttävissä kohteissa tunti vaihtelu on erittäin suurta, koska käyttösähkön osuus sähkönkulutuksesta on suurempi kuin sähkölämmityksessä kiinteistöissä. Sähkölämmitteisten talojen energiankulutusjakauma on vuorokaudessa tasaisempi. Kohteiden huippukulutus ajoittuu talviviikonlopulle ja tästä huippukulutuksesta tehdään PKE-laitteen mitoitus.

Taulukkoon 1 on koottu esimerkkikohteiden kulutukset vuodessa. Taulukossa 2 on kuvattu esimerkeinä käytettyjen kohteiden huippukulutukset ja taulukossa 3 kohteiden huippukulutukset prosentteina. Taulukoista voidaan huomata, että huippukulutuksen aikana myös maalämpökohteessa (esimerkkikohteessä 1) käyttösähkön suhde koko lämmitykseen on lähes yhtä suuri kuin kohteissa 2 ja 3. Tosin kohteessa 1 kulutetaan suhteessa huomattavasti enemmän vettä kuin kohteissa 2 ja 3. Kohteen 4 suhteellinen kulutus kallistuu eniten käyttösähkön puolelle, mikä selittyy sillä, että kohdetta lämmitetään vesikiertoisella takalla.

TAULUKKO 1. Esimerkkikohteiden sähkön ja vedenkulutus vuodessa

Kohteiden kulutus/v				
Kohde	1	2	3	4
Sähkö, kWh	12400	27600	25400	12500
Vesi, m ³	150	120	180	150

TAULUKKO 2. Esimerkkikohteiden huippukulutus

Kohteiden kulutus kWh/vrk				
Kohde	1	2	3	4
Lämmitys	17,3	87,6	79,2	15,6
Veden lämmitys	9,5	7,6	11,4	9,5
Käyttösähkö	10,9	35,9	29,5	17,2
Yhteensä	37,7	131,1	120,1	42,3

TAULUKKO 3. Esimerkkikohteiden huippukulutuksen suhteellinen jakauma

Suhteellinen sähkönkulutus %				
Kohde	1	2	3	4
Lämmitys	45,9	66,8	65,9	36,8
Veden lämmitys	25,2	5,8	9,5	22,5
Käyttösähkö	28,9	27,4	24,6	40,6
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0
Yhteensä, kWh	37,7	131,1	120,1	42,3

2.2 Suomalaisten pienkiinteistöjen keskekulutut

Taulukossa 4 on 120 m² kokoisen pienkiinteistön keskimääräiset energiakauumat, käyttösäkö n. 5 280 kWh (28 %), lämmitys n. 9 600 (52 %) kWh ja veden lämmitys n. 3 600 kWh (20 %). Keskimääräinen kulutusjakauma perustuu pienkiinteistöjen pitkäaikaiseen sähkökäyttötutkimukseen. Arvot ovat suuntaa antavia, koska asukkaat ja kulutustottumukset, jopa harrastukset vaikuttaa merkittävästi sähkökulutukseen. (Adato 2011; Vattenfall 2015)

TAULUKKO 4. 120 m² pienkiinteistön keskimääräinen sähkökulutus (Vattenfall 2015)

	Kulutus/v	
Lämmitys	9600	kWh
Veden lämmitys	3600	kWh
Kylmälaitteet	600	kWh
Kiuas	1000	kWh
Ruoanvalmistus ja astianpesu	680	kWh
Kodin elektronikka	700	kWh
Pyykinpesu ja -kuivaus	600	kWh
LVI-laitteet	600	kWh
Auton lämmitys	400	kWh
Muu kulutus	700	kWh
Yhteensä vuodessa	18480	kWh

Taulukon 4 keskimääräinen energiankulutus on prosentuaalisesti lähes samaa tasoa kuin esimerkki-kohteiden 2 ja 3 kulutukset. Lähes 10 000 kWh:n vuosikulutuksen ero johtuu kohteiden 2 ja 3 suuresta pinta-alasta. Kohteiden 1 ja 4 kulutukset eroavat huomattavasti keskimääräisestä prosenttijaosta, koska kohteessa 1 on maalämpö ja kohteessa 4 käytetään vesikierrolla varustettua takkaa.

3 ENERGiantuottolaite

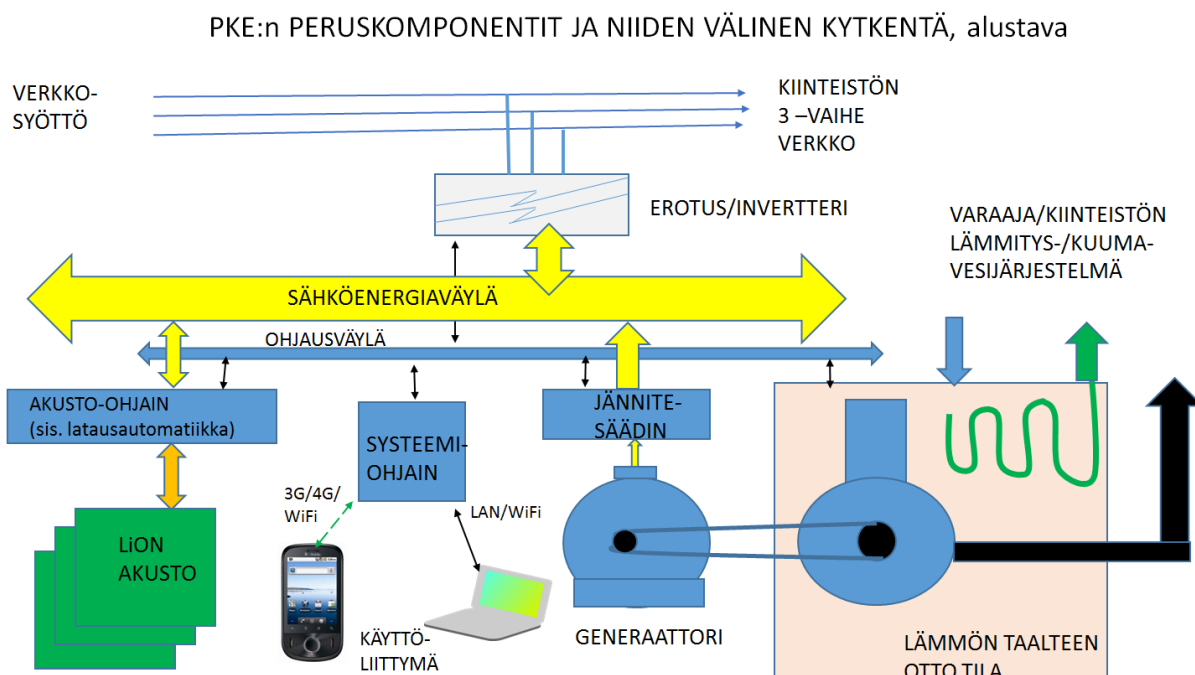
Pienkiinteistöissä käytetään nykyään yhä enemmän varavoimakoneita, joilla saadaan varmistettua katkeamaton sähkönsyöttö. Varavoimajärjestelmät koostuvat varavoimakoneesta, generaattorista ja ohjausjärjestelmästä. Varavoimajärjestelmät käynnistetään joko käsiohjauksella tai automaattisesti.

Tavallisen varavoimakoneen periaatteella olisi myös helppo toteuttaa pienkiinteistön jatkuva sähkön ja lämmönsyöttö, jolloin sähköliittymää ei välttämättä tarvita laisinkaan. PKE-laitteella voidaan säästää erittäin paljon hankintakustannuksia esimerkiksi kesämökeillä ja vapaa-ajan asunnoilla, joilta on pitkä matka sähköjakeluverkkoon.

Tässä työssä esitelty sähkö- ja lämpöenergiantuottolaite on esiselvitysvaiheessa eikä sitä ole vielä sellaisenaan toteutettu. Laitteessa erityistä on voimalähteen hukkalämmön talteenotto, jota ei yleensä hyödynnetä vastaavanlaisissa ratkaisuissa. Tässä luvussa käydään läpi laitteen toimintaperiaate ja suunnitellut peruskomponentit.

Laite perustuu generaattorin tuottamaan sähköenergiaan ja voimakoneen tuottaman hukkalämmön talteenottoon. Hukkalämpö siirretään kiinteistön lämmitysjärjestelmään. Laitteen akusto ja generaattori on yhteydessä sähköenergiaväylään, joka on liitetty kiinteistön 3-vaiheverkkoon invertterillä. Laitteella ei ole tarkoitus syöttää sähköä jakeluverkkoon, vaan sähkö hyödynnetään pelkästään kiinteistön omaan käyttöön. Laitteen komponentit on yhdistetty ohjausväylään, mutta ohjausväylän toimintaa ja käyttöliittymää ei tarkastella tässä selvityksessä tarkemmin.

PKE-laitteen peruskomponentit ovat moottori, generaattori, akusto, invertterit sekä lämmön talteenotto. Energia varastoidaan akustoon sekä lämminvesivaraajaan. Voimanlähteenä toimii diesel, polttoöljy, maakaasu sekä mahdollisesti biokaasu tai biopolttoneste. Laite pyritään toteuttamaan tavanomaisen kalustekaapin kokoon (600*600*2000 mm). Kaaviossa 1 on esitelty PKE-laitteen alustavat komponentit.



KAAVIO 1. PKE-laitteen alustava komponenttikytkentä (Korhonen 2015.)

3.1 Moottorit

Eri voimakone vaihtoehtoja PKE-laitteelle on useita, generaattoria voidaan pyörittää lähes millä tahansa pyörivällä koneella. Yleisimpiä vaihtoehtoja ovat bensiini ja dieselkoneet. Sisätiloihin sijoitettuna bensiinikoneet ovat huono vaihtoehto johtuen korkeasta melutasosta, joten dieselkone on suositeltavampi vaihtoehto PKE-laitteelle. PKE-laite saadaan mitoitetua kaikenkokoisille kiinteistöille, koska moottorivaihtoehtoja on olemassa useita.

3.1.1 Dieselkäyttöiset moottorit

Dieselkäyttöisiä moottoreita on pidetty pitkään luotettavana vaihtoehtona varavoimajärjestelmille, koska rakenne on erittäin luja ja pitkäikäinen. Dieselmoottori on vahva vaihtoehto energiantuottokoneeksi pitkän huoltovälin, pienen palo- ja räjähdysriskin sekä kilpailukykyisten polttoaine- ja käyttökustannusten vuoksi. Dieselkoneet ovat vääntäviä jo pienillä kierroksilla, joten melutaso pysyy alhaisena. Dieselkoneet ovat jo niin yleisiä, että niiden hankintahinnat ovat alhaiset ja koneita löytyy jokaiseen tarpeeseen. (Salo 2012)

Dieselpohjaisia varavoimakoneita on tarjolla pienistä muutaman kVA:n koneista suuriin usean MVA:n koneisiin. Sähkymoottoreiden teho voidaan laskea kaavojen 2 ja 3 avulla. (IEEE Std 446-1995 1996, s. 80-82), (ST-käsikirja 30 2010, s.27)

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2)$$

jossa

S	kolmivaiheinen näennäisteho, [VA]
P	kolmivaiheinen pätöteho, [W]
Q	kolmivaiheinen loisteho, [var]

$$S = \sqrt{3} \times U \times I \quad (3)$$

jossa

S	kolmivaiheinen näennäisteho, [VA]
U	pääjännite, [V]
I	päävirta, [A]

3.1.2 Polttoainevaihtoehdot

PKE-laitteen voimakoneena voidaan käyttää lähes mitä vain pyörivää konetta, joka täyttää tarvittavat henkilö- ja paloturvallisuusvaatimukset sekä lisäksi kokonaisvaatimukset melun, tilaratkaisun ja huollon kannalta. Dieselin lisäksi generaattoria voidaan pyörittää kevyellä polttoöljyllä ja maakaasulla, myöhemmin mahdollisesti myös biokaasulla ja biopolttonesteellä. Kaasuverkostot rajoittuvat ihan eteläiseen Suomeen, joten kaasukoneita ei pysty yleisesti vielä hankkimaan. Tällä hetkellä kaasulla pyörivät koneet ovat sen verran harvinaisempia ja kalliimpia kuin dieselillä pyörivät, että niiden hankinta on vähintäänkin kyseenalaista. Todennäköisesti kaasukoneiden käyttö lisääntyy tulevaisuudessa ja niiden hankkiminen on myöhemmin mahdollista.

Tällä hetkellä maakaasun hinta on 1,32 €/kg ja biokaasun hinta 1,44 €/kg. Kaasun 1 kg energia-arvo vastaa 1,39 litraa dieseliä. Käytännössä maakaasulla päästään tällä hetkellä 0,95 €:lla samaan energia-arvoon kuin dieselillä 1,4 €:lla ja polttoöljyllä 1,1 €:lla. (Fingasauto 2015)

3.2 Generaattorit

Generaattori muuttaa voimakoneen pyörimisenergian sähköksi. Generaattorin kaksi pääkomponenttia ovat roottori ja staattori. Toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, roottorin pyöriessä staattori tuottaa sähköenergiaa. PKE-laitteessa generaattorin ei tarvitse pyöriä verkon taajuudella, koska generaattori syöttää verkkoa, akkuja ja sisäistä väylää taajuusmuuttajan tai invertterin läpi.

Tahtikoneita on kahta eri tyyppiä, avonapaisia ja umpinapaisia. Generaattori voi olla myös kesto-magneettikone radiaali- tai aksiaalivuotyyppisenä. Umpinapaisia tahtikoneita käytetään nopeasti pyörivissä käytöissä n. 1500 – 3000 rpm nopeuksissa ja avonapaisia käytetään n. 75 - 1000 rpm nopeuksissa. Verkkoon kytketyn tahtigeneraattorin roottori pyörii samalla nopeudella syöttävän verkon ja koneen sisäisen magneettikentän kanssa, eli kone pyörii verkon tahtinopeudella. (Lana 2008)

Epätahtigeneraattorin roottorin pyörintänopeus on hieman kentän nopeutta suurempi ja sähkömotorisen voiman ja virran suunta on päinvastainen moottorikäyttöön verrattuna. Tällöin kone syöttää tehoa verkkoon. Epätahtikoneet ovat aina umpinapaisia. Koneita on kaksi pääryhmää, oikosulku- ja liukurengaskoneet. Oikosulkukoneessa roottorikämmet ovat oikosuljettuja roottorin molemmissa päissä oikosulkurenkailla, joten saadaan aikaan häkkikäänitys. Liukurengasgeneraattorissa roottorikämmien päät on tuotu liukurenkaiden avulla roottorista ulos. Kondensaattorimagnetoidut generaattorit saavat magnetoimisvirtansa magnetoimiskondensaattoreista, jotka ovat asennettuina generaattorin liittämiin. Liukurengasgeneraattoreita ei tässä kokoluokassa kannata harkita. (Lana 2008)

3.3 Invertterit ja taajuusmuuttajat

Invertteri on rajapinta, joka muuttaa tasasähköä vaihtosähköksi verkon ja energianlähteen välillä. Ohjaus ja suojaus tapahtuvat invertterissä sisäisillä elektronisilla laitteilla. Invertterin ohjausyksikkö katkaisee syötön nopeasti, jos se havaitsee rajat ylittäviä jännitteitä, virtoja tai taajuuksia. Ohjausyksikkö hoitaa myös invertterin tahdistukset ja käynnistykset. (Lehto 2009.)

PKE-laitteessa voi käyttää myös taajuusmuuttajaa kiinteistön verkon ja generaattorin välissä. Generaattori syöttää taajuusmuuttajan DC-välipiiriä, johon on kytketty akusto ohjaimineen ja DC-välipiiri on kytketty aktiivisella tasasuuntaajalla kiinteistön verkkoon.

Taajuusmuuttajan vikavirta voi olla noin kaksi kertaa suurempi kuin nimellisvirta. Suojauksessa on siis otettava samat asiat huomioon kuin generaattoreiden suojausratkaisuissa. Taajuusmuuttajissa on useimmiten sisäinen suojaus vikatilanteisiin. Esimerkiksi ylivirrat verkon syöttöpisteessä, generaattorissa tai DC-välipiirissä ovat suojattuina sisäisellä suojauksella. Suojaus havaitsee myös verkkojännitteen muutokset tai epäsymmetrian sekä ylijännitteen ja muuttajan kytkinkomponenttien ylikuormituksen. (Saloranta 2011.)

3.4 Akut

Akkuihin varattu sähkökemiallinen energia voidaan muuttaa sähköenergiaksi. Akuston kapasiteettia ja jännitettä voidaan muuttaa erilaisilla rinnan- ja sarjaankytkennöillä. Yleisimmin käytössä ovat lyijy- ja alkaliakut ja jatkossa enenevissä määrin litiumakut. Käyttöolosuhteet, lämpötila, kosteus ym. vaikuttavat akkutyypin valintaan. Akuston kunnon valvonta on erittäin tärkeää, koska se on yleensä kallis ja kohtuullisen lyhytikäinen. (Leppänen 2008.)

Akkuja on kahdenlaisia, suljettuja ja avoimia akustoja. Avoimet lyijyakut koostuvat yhdestä tai useammasta avokennosta. Avoimet akut tarvitsevat oman akkuhuoneensa tai vähintään tuuletetun komeron, koska akustoissa syntyy paloarkoja kaasuja sekä happoroiskeita. Avoimet akut tarvitsevat huoltoa säännöllisesti.

Suljetut venttiilisäädetyt lyijyakut eivät vaadi huoltoa ja ovat halvempia ja kevyempiä kuin avoimet akut. Elektrolyytti on suljetuissa akuissa joko kiinteää tai geeliä. Kennot on suojattu ylipaineventtiilillä, joten paineen kasvaessa venttiili purkaa ylimääräisen paineen ulos. Vettä häviää vähemmän suljetuissa akuissa kuin avoimissa, koska vesi ei pääse haihtumaan ja koska kemiallinen reaktio on erilainen kuin avoimissa akuissa. Suljetut akut voivat kuitenkin kuivua toimintahäiriön seurauksena, jolloin akku menee sisäiseen oikosulkuun ja käyttökelvottomaksi. (Leppänen 2008.)

Suljettujen akkujen elinikä on hieman pienempi kuin avoimien akkujen, mutta suljetut akut ovat halvempia ja huoltovapaita. Akkujen suositeltu lämpötila on 20 °C ja jo pienikin lämpötilan muutos voi lyhentää akun elinikää radikaalisti. UPS-laitteistoissa käytetään usein suljettuja akustoja niiden helpokäyttöisyyden vuoksi. (Leppänen 2008.)

3.4.1 Litiumioniakut

Litiumioniakkujen käyttö yleistyy jatkuvasti varavoima- ja kiinteistökäytössä. Akkujen elinikä on moninkertainen verrattuna esimerkiksi lyijyakkuihin. Akkujen elinikä ladattaessa 1C (C x akun kapasiteetti) virralla ja purkaessa 3C virralla 100 % DOD:lla (depth of discharge eli akun purkaussyvyys) on noin 5000 lataussykliä ja 70 % DOD:lla noin 7 000 lataussykliä. Mikäli akkujen kapasiteettiä kasvatetaan niin, että voidaan käyttää 50 % DOD:ia, lataussyklien määrä nousee yli 10 000 kertaan. Pienemmillä purkausvirroilla akun käyttöikä pitenee vielä entisestään. Akkujen kalenterielinikä on niin pitkä sykliseen elinikään verrattuna, että kalenterielinikää ei tarvitse ottaa huomioon PKE-laitteen käytössä. Uusimpien litiumioniakkujen hyötysuhde on 95 %, mikä täytyy ottaa huomioon PKE-laitteen lopullisessa mitoituksessa. (Rantula.)

3.4.2 AGM-akut

AGM-akut (Absorbent Glass Mat eli imeytetty lasikuitumatto) ovat akkuja, joissa käytetään erottimena lasivillamattoa, johon elektrolyytti on imeytettynä. Akuilla on erittäin pieni sisäinen vastus. Ne ovat huoltovapaita eivätkä vuoda nestettä lainkaan, joten niitä voi säilyttää myös kyljellään. Eivätkä ne ole niin herkkiä lämpötilanvaihteluille kuin muut akkutyypit. Akut ovat myös erittäin turvallisia, koska akkuneste on lasivillamatoissa imeytyneenä. Niillä on erittäin hyvä syväpurkauskestävyys ja akkujen itsepurkautuvuus on vain 1 - 5 % kuukaudessa. Latausvirta akuilla voi olla viisinkertainen tavanomaisiin nesteakkuihin verrattuna. AGM-akut saavuttavat saman eliniän 80 % DOD:lla kuin tavalliset nesteakut 50 % DOD:lla. (Batteryuniversity 2015.)

4 PKE-LAITTEEN VERKKOON LIITTÄMINEN

PKE-laite ei saa syöttää verkkoa silloin, kun jakeluverkko on jännitteetön. Jos laite jää syöttämään verkkoa, kun johto on muuten erotettu yleisestä verkosta, voi syntyä vaaratilanteita. Yleisessä jakeluverkossa toimivat pienvoimalat pitää olla verkonhaltijan tiedossa. (Santala 2011.)

PKE-laitteen on kytkeydyttävä irti yleisestä verkosta, jos verkon syöttö katkeaa tai jännite tai taajuus invertterin navoissa poikkeaa sallituista jännite- ja taajuusarvoista. Laite ei saa myöskään kytkeä jännitettä verkkoon, jos verkon taajuus- tai jännitearvo ei ole sallituissa rajoissa. (Santala 2011.)

Jos kiinteistön kuorma on invertterin takana, suojauksen on toimittava selektiivisesti ja aukottomasti. Suojauksen on toimittava niin, että PKE-laite ei aiheuta vaaraa käyttäjille tai häiriötä jakeluverkolle. Suojaus turvaa laitteen myös verkossa tapahtuvilta häiriöiltä. Invertterin on pystyttävä ylläpitämään riittävä jännitteen laatu ja kyettävä tuottamaan selektiivisen suojauksen vaatima vikavirta. (Santala 2011.)

4.1 Generaattoreiden suojaus

Jos toteutus tehdään niin, että generaattorin ja verkon välissä on DC-järjestelmä, nämä suojausvaatimukset ja ominaisuudet vaaditaan verkkoa syöttävältä invertteriltä. Jos PKE-laite ei ole kytkettynä yleiseen jakeluverkkoon, voidaan jakeluverkkoon liittämisen vaatimukset jättää huomioimatta.

Generaattorien tekniset vaatimukset tulee ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Generaattorissa on oltava riittävä suojaus, joka takaa riittävän henkilöturvallisuuden sekä estää generaattoria aiheuttamasta vaurioita muille laitteille. Lisäksi generaattorissa pitää olla tarpeelliset arvokilvet, sekä kirjalliset ohjeet laitteiston asennusta käyttöä ja hoitoa varten. Generaattorille on määriteltävä maasulku- ja oikosulkuvirrat. Käytössä ja huollossa täytyy noudattaa valmistajan antamia ohjeita. (D1, s.305)

SFS-standardi määrittelee tarkasti generaattoreiden suojaukseen liittyvät seikat. ”Jos generaattorilaitteistolla on tarkoitus syöttää sähköasennusta, jota ei ole liitetty yleiseen jakeluverkkoon, tai generaattoria käytetään kytkettävänä vaihtoehtona yleiselle jakeluverkolle, generaattorilaitteiston tehon ja muiden ominaisuuksien on oltava sellaisia, etteivät jännite- ja taajuusvaihtelut vaaranna tai vaurioita laitteita kytkettäessä kuormituksia päälle tai pois päältä. On oltava käytössä laitteet, joilla voidaan generaattorin kuormitettavuuden ylittyessä automaattisesti kytkeä pois tarvittavia sähköasennuksen osia. Jokaisen teholähteen erotuslaitteiden pitää täyttää SFS 6000-5-53 luvun 537 vaatimukset.” (SFS 6000-5-55, 551.2.3, s.327)

Generaattoreiden vikasuojaus pitää olla vaaditulla tasolla, eikä suojaus saa aiheuttaa vikatoimintaa muissa laitteissa. ”Vikasuojaus pitää järjestää asennuksessa jokaisen sellaisen syötön tai syöttöyhdistelmän suhteen, joka voi toimia riippumattomasti muista syötöistä tai syöttöyhdistelmistä. Vikasuojauksen järjestelyt pitää valita ja toteuttaa siten, että jos vikasuojaus toteutetaan eri tavoilla samassa asennuksessa tai asennuksen osissa riippuen käytössä olevasta tehonlähteestä, ei saa aiheutua vaikutuksia tai olosuhteita, jotka voisivat huonontaa vikasuojauksen toimintaa. Generaattorilaitteistot pitää kytkeä siten, että SFS 6000-4-41 mukainen suojaus vikavirtasuojan avulla säilyy tehokkaana kaikissa tarkoitetuissa tehonlähteiden yhdistelmissä.” (SFS 6000-5-55, 551.4.1)

Myös sähköiskunsuojaukseen SFS-standardi määrittelee vaatimukset. ”Kun sähköiskuilta suojaukseen käytetään automaattista poiskytkentää, noudatetaan SFS 6000-4-41 luvun 411 vaatimuksia lu-

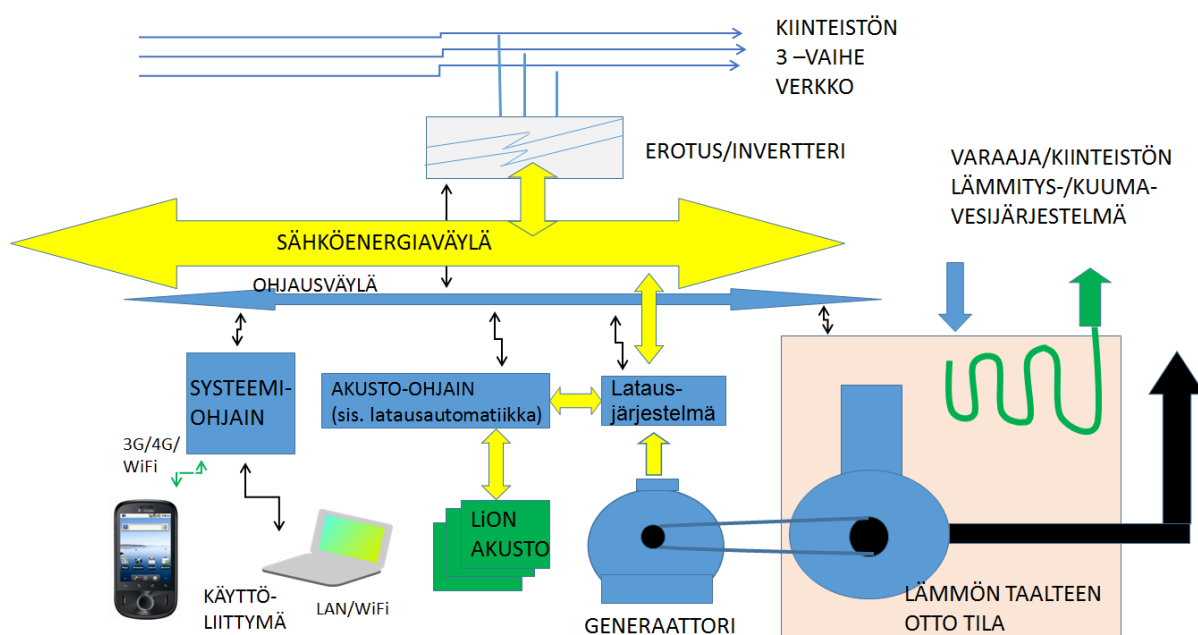
kuun ottamatta kohtien 551.4.3.2 tai 551.4.3.3 mukaan muutettuja erityistapauksia.” Automaattisen poiskytkennän on katkaistava syöttö kohtien 411.3.2.2, 411.3.2.3 tai 411.3.2.4 vaatimassa ajassa. (SFS 6000-5-55, 551.4.3.2)

Jos generaattori toimii rinnan yleisen jakeluverkon kanssa, mikä ei ole alun perin PKE-laitteen tarkoitus, sille on määritelty erilliset lisävaatimukset edellisten lisäksi: Suojaus lämmönvaikutuksilta pitää olla SFS 6000-4-42 mukainen ja ylivirtasuojauksen on toimittava kaikissa tilanteissa ja oltava SFS 6000-4-43 mukainen (SFS 6000-5-55, 551.7.1). Generaattorilaitteisto on varustettava automaattisilla suojalaitteilla, jotka kytkevät laitteiston irti verkosta ja estävät takaisinkytketymisen, jos verkko syöttö katkeaa tai taajuus tai jännite poikkeaa verkon ilmoitetuista arvoista generaattorin liitäntänavoissa (SFS 6000-8-801, 801.551). Jos laitetta halutaan käyttää, kun jakeluverkko on jännitteetön, siinä on oltava kaksoiskytkentämahdollisuus, jotta se saadaan erotettua täysin verkosta erotetuksi saarekkeeksi (Lehto 2009).

5 LAITEKOMBINAATIOT

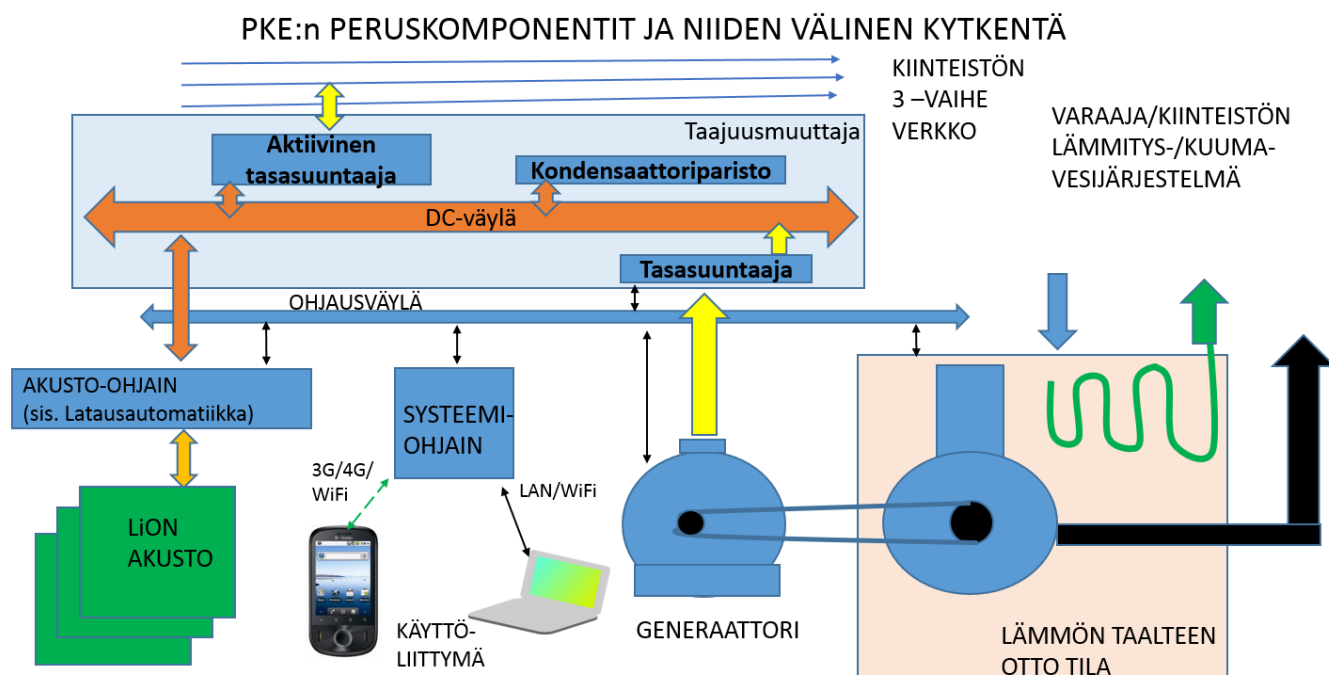
PKE-laitteessa käytetään lähes samanlaisia komponentteja riippumatta kohteen kulutuksesta. Laitteen akusto-ohjain, systeemiohjain ja lämmön talteenotto-tila pysyvät samoina riippumatta kohteesta. Energiankulutuksen mukaan muuttuvia komponentteja ovat akusto, generaattori sekä lämminvesivaraaja. PKE-laite on mahdollista toteuttaa eri verkonsyöttötavoilla. Tässä luvussa käsitellään erilaisia laitekombinaatioita, joista yhtä mahdollisesti käytetään PKE-laitteen prototyypin rakentamiseen.

PKE:n PERUSKOMPONENTIT JA NIIDEN VÄLINEN KYTKENTÄ



KAAVIO 2. PKE-laitteen päivitetty komponenttikytkentä.

Kaavion 2 mukaisessa laitekombinaatiossa generaattori syöttää energiaväylää latausjärjestelmän yli ja energiaväylä syöttää kiinteistön verkkoa invertterin avulla. Akusto-ohjain eli BMS (Battery management system) on akustonvalvontajärjestelmä, joka on yleensä akkuvalmistajan omille akuille kehitetty tuote. Latausjärjestelmä lataa akkuja tarvittaessa ja syöttää akuilta verkkoa silloin, kun akut ovat riittävässä latauksessa. Generaattori voidaan ohjata joko niin, että akkuja käytetään mahdollisimman vähän tai generaattori pyörii vain akkujen täyttämiseksi ja akut syöttävät verkkoa jatkuvasti. Akkujen kannalta paras vaihtoehto on, että generaattori syöttää jatkuvasti verkkoa ja lataa akut päivän aikana täyteen. Yöllä laite on akkujen varassa ja generaattori lataa akut jos varaus ei riitä yön yli.



KAAVIO 3. Taajuusmuuttajan ympärille rakennettu DC-väylä.

Toisena mahdollisuutena laitekombinaatiolle on kaaviossa 3 esitetty taajuusmuuttajan välipiiriin rakennettu DC-väylä. Tässä kombinaatiossa generaattori syöttää taajuusmuuttajan lähtöpuolelta DC-välipiiriä, johon akusto on kytkettynä. DC-piiri on kytketty taajuusmuuttajan aktiivisella tasasuuntaajalla kiinteistön verkkoon. Taajuusmuuttajan on oltava kuormaan jarruttava malli. Kondensaattoriparisto kompensoi taajuusmuuttajan omaa loistehoa.

Yhtenä mahdollisuutena olisi syöttää kiinteistön verkkoa suoraan generaattorilla ilman taajuusmuuttajaa tai invertteriä. Akkujen lataus tapahtuisi suoraan kiinteistön verkosta tasasuuntaajan avulla. Kombinaation haittapuolena on, että generaattorin taajuuden pitäisi olla kohdallaan eli generaattorin pyörintänopeus pitäisi olla vakio. Myös generaattorin tahdistus kiinteistön verkkoon pitäisi tehdä joka käynnistyksellä. Vaikka investointikustannukset kombinaatiossa olisivat pienimmät, ei tämä kytkentä silti ole välttämättä järkevä. Jos laitetta käytetään saarekkeessa, kombinaation hintaa nostaa se, että generaattorin tulisi itse huolehtia taajuudesta ja jännitteestä.

6 PKE-LAITTEEN MITOITUS

Laitteen mitoitus tehdään pienkiinteistön energiankulutusprofiiliin mukaan, joten PKE-laitteen käyttöaste saadaan sopivaksi. Mitoituksessa otetaan huomioon sähkön- ja lämmönkulutus.

Mitoitukset tehdään tuntikohtaisten huipputehojen perusteella. Koneen huipputehon on oltava vähintään tuntikohtaisen huipputehon verran, mutta mitoituksessa huomioidaan myös se, minkä aikaa generaattoria halutaan pyörittää vuorokaudessa. Kuitenkin lyhyen huipputehojakson aikana energiaa voitaisiin ottaa akuista, mikäli koneen tehot eivät riittäisi. Yleensä dieselkoneissa suositellaan käyttämään 75 % kuormaa, jolloin hyötysuhde on parhaimmillaan ja huoltovälit sekä käyttöikä ovat pisimmillään. Päivittäisen tehon perusteella voidaan laskea akkujen kapasiteetin ja vesivaraajan koko. Mitoituksessa pitää ottaa huomioon myös akkujen purkausvirrat ja tavoiteltu purkaussyvyys sekä olosuhteiden, käyttötavan ja ikääntymisen aiheuttama kapasiteetin lasku.

Laitteen mitoituksessa täytyy ottaa huomioon generaattorin hyötysuhde, akuston jatkuva varaus, akuston häviöt ja akusto-ohjaimen häviöt. Laitteiston energiantuottosuhte saadaan sopivaksi sovitamalla akuston, lämminvesivaraajan tai voimakoneen ja generaattorin kokoa. PKE-laitteen moottorin sopiva mitoitus on erittäin tärkeää, jos moottori on alimitoitettu, se joutuu käymään pitkään ylikuormituksella. Kun laite ylimitoitetaan, investointikustannukset kasvavat ja moottorin käyntivälit ovat pitkiä. Myös akkujen kapasiteetin ja vesivaraajan kokojen on tällöin oltava suuret.

Kiinteistön tarvittava kokonaisteho, huippukuorma sekä suojalaitteiden toiminta pitää ottaa huomioon. Kokonaistehon mitoituksessa merkittävää ovat käynnistysvirrat, jotka pitää ottaa huomioon, ettei jännitteenalenema kasva liian suureksi. Jos järjestelmässä on myös induktiivista kuormaa, käynnistysvirta on suurempi kuin pelkällä resistiivisellä kuormalla. Mitoitukseen vaikuttavat myös jännitteen heilahdukset käynnistyksessä, rinnankäyttö, oikosulkuvirta, sähkön laatu, epälineaariset kuormat, yliaallot sekä vinokuormituksen syöttökyky. Jos generaattorin ja kuorman välissä on aktiivinen akusto (kaavio 2), sähkönlaadun vaatimukset siirtyvät generaattorilta akuston verkkosuuntaajalle. Mikäli laitteessa käytetään taajuusmuuttajaan perustuvaa rakennetta (kaavio 3), verkkopuolelle tarvitaan jännitteensuodatus riittävän sähkönlaadun varmistamiseksi. (Salo 2011).

Järjestelmän voimakone mitoitetaan laskemalla kohteen eri laitteiden kokonaisvuorokausikulutus ja tuntikohtainen kulutus mahdollisimman tarkasti. Lisäksi lasketaan kohteen tuntikohtainen lämmityksen tarve. Laitteisto kannattaa mitoittaa mieluummin hieman yläkanttiin, jolloin laitteiston päivittäinen käyttöaika lyhenee ja akustojen latauskerrat vähenevät. Voimakoneen tarvittu teho lasketaan päiväkulutuksesta kaavalla: (Isokangas 2012)

$$P = \frac{\text{energian kulutus}(\frac{kWh}{vrk})}{\text{käyttöaika}(h)} \quad (4)$$

jossa

P pätöteho [W].

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (5)$$

jossa

S näennäisteho [VA]

P pätöteho [W]

cos φ tehokerroin.

TAULUKKO 5. Esimerkkikohteiden generaattorin käyttöaika

Generaattorin käyttö, 3501 DY				
Kohde	1	2	3	4
Käyttöaika, h	4,8	16,8	15,4	5,4
Tuotettu energia, kWh	48,6	168,9	154,7	54,6
Hukkaenergia, kWh	10,9	37,8	34,7	12,2
Lämpö, kWh	25,4	88,2	80,8	28,5
Sähkö, kWh	12,3	42,9	39,3	13,9
Sähkövastuksen käyttö, kWh	1,4	7,0	9,8	-3,3

Taulukossa 5 esitetään Poweri 3501 DY aggregaatin toiminta-ajat kaikissa esimerkkikohteissa, ajat on laskettu 75 % kuormalla ja 2,55 kW teholla. Sähkövastuksen käyttö kuvaa sitä miten paljon joudutaan tuottamaan lämpöä kohteeseen varaajan sähkövastuksella, kun tuotetun lämpöenergian ja sähkön suhde ei ole sama kohteen tarpeen kanssa. Kohteessa 4 sähkövastuksen käyttö jää negatiiviseksi eli generaattori tuottaa liikaa lämpöä ja liian vähän sähköä, jolloin generaattoria joudutaan käyttämään pelkän sähkön tuottamiseen ja ylimääräinen lämpöenergia menee hukkaan. Kaikissa esimerkkikohteissa on käytetty laskemiseen samaa aggregaattia, jotta voidaan huomata ylimateitoitun ja sopivasti mitoitettun aggregaatin ero. Kohteissa 2 ja 3 aggregaatin pyörintä-ajat ovat hyvällä tasolla ja akkujen kapasiteetin ei tarvitse olla kohtuuttoman suuret. Kohteiden 1 ja 4 akkujen koko jää myös aika pieneksi, koska niiden kulutus on erittäin pientä. Generaattori kuitenkin kannattaa mitoitaa jonkin verran pienemmäksi kohteissa 1 ja 4, jotta investointikustannuksia saadaan hieman pienemmiksi. Kohteissa 1 ja 4 generaattorien koko kannattaa pienentää esimerkiksi 2 kW:n koneisiin.

TAULUKKO 6. Esimerkkikohteiden käyttöaika akuilla ja varaajalla

Akkujen ja varaajan käyttöaika				
Kohde	1	2	3	4
1 syklillä, h	19,2	7,2	8,6	18,6
2 syklillä, h	9,6	3,6	4,3	9,3
4 syklillä, h	4,8	1,8	2,2	4,7

PKE-laitteen akkujen ja vesivaraajan koot riippuvat siitä, miten useasti akut ladataan ja varaaja lämmitetään päivän aikana. Kohteiden käyttöajat vesivaraajan ja akkujen varassa on esitetty taulukossa 6. Kohteessa 2 akkujen ja varaajan käyttöaika vuorokaudessa on 7 tuntia 12 minuuttia yhdellä syklillä. Jos generaattorin ja akkujen käyttösykli on neljä kertaa vuorokaudessa, akkujen ja varaajan käyttöaika yhdellä kertaa jää vain yhteen tuntiin ja 48 minuuttiin. Kaikkien esimerkkikohteiden akkujen koot on esitetty taulukossa 6 ja vesivaraajien koot taulukossa 8.

TAULUKKO 7. Esimerkkikohteiden akkujen koko eri käyttösykleillä

Akkujen koko				
Kohde	1	2	3	4
Huippukulutus, kWh	0,9	2,7	2,3	1,2
1 syklillä, kWh	24,7	27,8	28,3	31,9
2 syklillä, kWh	12,3	13,9	14,1	15,9
4 syklillä, kWh	6,2	6,9	7,1	8,0

Akkujen koon laskemiseen on käytetty 70 % DOD:ia (depth of discharge eli akkujen pyrkäussyvyys), joten akkujen kapasiteetin on oltava 30 % suurempi kuin 100 % DOD:lla. Akkujen kapasiteetit on hieman ylimitoitettu, koska ne on laskettu kohteen huippukulutuksen mukaan. Taulukossa 7 akkujen koko on laskettu kaavalla 6:

$$\text{akkujen koko} = \frac{\text{akkujen käyttöaika/sykli}}{70 \%} \times \text{huippukulutus} \quad (6)$$

TAULUKKO 8. Esimerkkikohteiden varaajan koko eri käyttösykleillä

Varaajan koko				
Huippukulutus, kWh	1,62	4,58	4,84	1,85
1 syklillä, litraa	536	568	718	593
2 syklillä, litraa	268	284	359	297
4 syklillä, litraa	134	142	179	148

7 KUSTANNUKSET

PKE-laitteen kustannukset koostuvat investointi- ja elinkaarikustannuksista. Investointikustannukset on helppo laskea yksittäisten komponenttien hintojen ja asennuskustannusten perusteella. Elinkaari-kustannuksia on jo hankalampi arvioida, koska kustannukset riippuvat paljon komponenttien kestä-vyydestä sekä huoltovälien pituudesta. Elinkaarikustannukset määräävät investointikustannusten kanssa tuotetun energian hinnan. Esimerkkinä käytetään kohteen 2 kulutusta sekä kohteesta lasket-tuja generaattorin, akuston ja varaajan kokoja. Kohde 2 valittiin, koska siinä on esimerkkikohteista suurin energiankulutus, joten voidaan laskea, mitkä olisivat PKE-laitteen kustannukset kilowattituntia kohden halvimmillaan.

7.1 Investointikustannukset

Investointikustannukset saadaan laskemalla kaikki tarvittavat komponentit yhteen. Ennen prototyypin rakentamista ei vielä puututa asennuskustannuksiin. Kaikkien eri laitekombinaatioiden kustan-nusten arviointiin käytetään esimerkkituotteen 2 energiankulutusta neljällä purkaussyklillä. Hinnat perustuvat markkinoilla olevien komponenttien hintoihin. PKE-laitteen kustannukset kaavion 2 laite-kombinaatiolla ovat seuraavat:

- voimakone ja generaattori	2 650 €
- akustot	4 140 €
- lämmön talteenotto	500 €
- vesivaraaja 150l	700 €
- ohjausjärjestelmä	600 €
- 3-vaiheinvertterilaturi, 5kW	2 500 €
- Yht.	11 090 €.

Taajuusmuuttajapohjaisen laitekombinaation (esitetty kaaviossa 3) kustannukset esimerkkituotteen 2 ovat seuraavat:

- voimakone ja generaattori	2 650 €
- akustot	4 140 €
- lämmön talteenotto	500 €
- vesivaraaja 150l	700 €
- ohjausjärjestelmä	600 €
- taajuusmuuttaja, 4 kW	1 000 €
- Yht.	9 590 €.

Taajuusmuuttajapohjaisen laitekombinaation investointikustannukset jäävät hieman pienemmiksi kuin akusto-ohjaimen läpi syöttävän kombinaation investointikustannukset. Muutaman tuhannen ero investointikustannuksissa ei kuitenkaan vaikuta kovinkaan paljoa koko elinkaarikustannuksiin ja energian hintaan. Akusto-ohjaimen läpi syöttävä kombinaatio vaikuttaa alustavasti paremmalta,

koska sähköenergia väylää ei siinä välttämättä tarvita lainkaan, mutta on hankala arvioida kumpi on parempi kombinaatio ennen käytännön testejä.

7.2 Elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannuksia PKE-laitteeseen on osin vaikea määrittää tarkasti. Tässä laskelmassa elinkaarikustannuksiin sisältyvät laitteiston huoltokustannukset, öljynvaihdot, puhdistukset ja laitteen korjauskustannukset sekä energian hinta. Öljynvaihto pitää tehdä kahdesta kolmeen kertaan vuodessa, sen voi tehdä itse. Öljyt maksavat 20 € kerta eli 60 € vuodessa. Puhdistus täytyy tehdä kerran vuodessa, sen hinta on 100 €. Korjauskustannuksia ei voi etukäteen laskea, karkea arvio on 200 €/5 v. Moottorin eliniäksi lasketaan 30 vuotta, joten elinkaarikustannuksien yhteenlaskettu määrä on $(160 \text{ €/v} + 200 \text{ €/5v}) \times 30\text{v} = 6\,000 \text{ €}$. Tämän lisäksi akustot joudutaan uusimaan tietyin väliajoin. Uusi-
misväli riippuu akuston koosta ja käyttöasteesta eli siitä, montako kertaa päivässä akut ladataan ja puretaan. Akustot joudutaan uusimaan kaksi kertaa PKE-laitteen eliniän aikana; esimerkkikohteessa 2 akustojen hinnaksi elinkaaren aikana tulee 8 280 €. Huoltojen ja akkujen vaihtojen hinnaksi elinkaaren aikana tulee yhteensä 14 280 €. Näiden lisäksi elinkaarikustannuksiin lasketaan energian hintakustannukset, jotka on esitetty luvussa 6.3.

7.3 Energian hintakustannus

Energian hintakustannus riippuu polttoaineen hinnasta ja PKE-laitteen hyötysuhteesta. Käytettäessä Poweri 3501 DY voimakonetta PKE-laitteessa, polttoöljyn ja dieselin energia-arvosta 25,4 % saadaan sähköksi, joten PKE-laitteen sähköntuottohyötysuhde on 25,4 % (Solarpower 2015, verkkosivut). Poweri 3501 DY voimakone tullaan vaihtamaan lopulliseen prototyyppi versioon erilliseksi polttomoottoriksi ja generaattoriksi. Tavoitteena on saada 70 % jäljelle jäävästä energiasta lämmöksi, jolloin lämpöhyötysuhde on 52,2 %. Kokonaishyötysuhde on siis 77,6 %. Voimakoneessa on paras hyötysuhde, kun sitä käytetään 75 % kuormalla. Myös muita polttoaineita käytettäessä pyritään pääsemään samaan hyötysuhteeseen.

Dieselin energia-arvo on 10,05 kWh/l (Motiva 2015 b). Kaavoilla 8 ja 9 voidaan laskea minkä verran energian hintakustannus on eri polttoaineilla:

$$\text{tuotettu energia/l} = \text{energia arvo/l} \times \text{hyötysuhde} \quad (7)$$

$$\text{energian hinta} = \frac{\text{hinta/l}}{\text{tuotettu energia/l}} \quad (8)$$

Taulukossa 9 on esitelty PKE-laitteen tuottaman energian hintakustannukset talviaikaan, kun koko lämpöenergia saadaan talteen eli hyötysuhde on 77,6 %.

TAULUKKO 9. Energian hintakustannukset talviaikana 77,6 % hyötysuhteella

	Energia-arvo	Energian hinta	Energian hinta
	kWh/l(kg)	€/l(kg)	snt/kWh
Diesel	10,05	1,4	17,9
Polttoöljy	10,05	1,1	14,1
Maakaasu	13,9	1,32	12,7
Biokaasu	13,9	1,44	13,6

Kesäaikaan lämpöä ei saada talteen, joten laitteen kokonaishyötysuhde on sama kuin sähköntuotto-hyötysuhde eli 25,4 %. Energian hintakustannukset kesäaikaan ovat taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Energian hintakustannukset kesäaikana 25,4 % hyötysuhteella

	Energia-arvo	Energian hinta	Energian hinta
	kWh/l(kg)	€/l(kg)	snt/kWh
Diesel	10,05	1,4	54,8
Polttoöljy	10,05	1,1	43,1
Maakaasu	13,9	1,32	37,4
Biokaasu	13,9	1,44	40,8

Oletetaan, että lämmityskuukausia on vuodessa 7 ja lämmittämättömiä kuukausia vuodessa 5, jolloin voidaan laskea koko vuoden energian hinta:

$$\text{lämmitys energia talvella} = \text{päiväenergia} \times 7 \text{ kk} \times 30 \text{ pv} \quad (9)$$

$$\text{veden lämmitysenergia talvella} = \text{päiväenergia} \times 7 \text{ kk} \times 30 \text{ pv} \quad (10)$$

$$\text{sähköenergia talvella} = \frac{\text{energiankulutus} - \text{lämmitys-vesi}}{12 \text{ kk} \times 7 \text{ kk}} \quad (11)$$

$$\text{veden lämmitysenergia kesällä} = \text{päiväenergia} \times 5 \text{ kk} \times 30 \text{ pv} \quad (12)$$

$$\text{sähköenergia kesällä} = \frac{\text{energiankulutus} - \text{lämmitys-vesi}}{12 \text{ kk} \times 5 \text{ kk}} \quad (13)$$

TAULUKKO 11. Energian kulutus talviaikana ja kesäaikana

27600 kWh/v	Energian kulutus talvi			Energian kulutus Kesä	
	Lämmitys	Vesi	Sähkö	Vesi	Sähkö
kWh	18396	1602	3767	1145	2690

TAULUKKO 12. Energian hinnat vuositasolla ja kWh tasolla

27 400 kWh/v	Talvi	Kesä	Vuosi	30 vuotta	Kaikki kulut
	€	€	€	€	snt/kWh
Diesel	4254	2102	6356	190680	25,9
Polttoöljy	3351	1649	5000	150000	21
Maakaasu	3018	1434	4452	133560	19
Biokaasu	3232	1564	4796	143880	20,3

Taulukossa 12 on eri polttoaineiden vertailuhinnat vuositasolla esimerkkitilanteen 2 kulutuksilla laskettuna. Taulukon 30 vuoden hintaan on laskettu mukaan kaikki investointikustannukset ja elinkaarikustannukset. Taulukossa on mukana myös energian hintakustannus koko 30 vuoden elinkaaren ajalta. PKE-laitteella päästään halvimmillaan 19 snt/kWh maakaasulla, jota voi käyttää vain eteläisimmässä Suomessa. Halvimmaksi yleiseksi käyttövaihtoehdoksi jää polttoöljy, jonka hinta on 21 snt/kWh.

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää PKE-laitteelle tekniset toteutusmahdollisuudet ja laitteen investointi sekä elinkaarikustannukset. Eli tavoitteena oli saada käsitys miten ja millä kustannuksilla laite olisi mahdollista toteuttaa pienkiinteistöihin. Työssä käytiin läpi laitteeseen soveltuvien komponenttien tyypit, hyötysuhteet ja ominaisuudet. PKE-laitteen komponenttien mitoittamista varten selvitettiin eri pienkiinteistöjen energiankulutuksia. Lopuksi laskettiin selvitetuille kombinaatioille investointi ja elinkaarikustannukset.

PKE-laite on erinomainen laite sellaisiin kiinteistöihin, joihin ei ole mahdollisuutta saada sähköverkkoa. Laite on myös hyvä vaihtoehto varavaimaksi pienkiinteistöihin. Varavaimakäytössä PKE-laite voidaan mitoittaa jonkin verran pienemmäksi eikä akkuja välttämättä tarvita lainkaan. Tämänhetkellä sähkön hinnoilla laitetta ei ole kuitenkaan järkevää ottaa pääenergianlähteeksi kiinteistöön, jossa sähköjakeluverkko on helposti saatavilla.

PKE-laite on hieman kalliimpi investointi kuin aurinkopaneelit, mutta laitteen etuna on energian saannin varmuus. PKE-laitteella voidaan tuottaa sähkö- ja lämpöenergiaa aina tarpeen vaatiessa. Jos arvostaa toimintavarmuutta ja energian saatavuutta tilanteesta riippumatta, PKE-laite on erinomainen vaihtoehto pienkiinteistöihin pääenergianlähteeksi tai varavaimaksi. Laitteen heikkous on tuotetun energian hinta, joka on kesäisin lämpöhukan vuoksi varsin korkea. Laitteen energian hintaa kesällä voi kompensoida investoimalla aurinkopaneelit, joilla saataisiin halpaa sähköä kesäisin. Lisäkustannuksia aurinkosähköjärjestelmästä ei välttämättä tulisi kuin paneelien ja asennusten osalta, koska akkujärjestelmä laitteessa on valmiina.

Selvityksessä ei otettu huomioon akkujen, invertterien ja taajuusmuuttajien häviöitä, joten energian hinta on noin 10 - 15 % kalliimpi kuin lasketut tulokset. Mittausarvoissa, taulukoissa ja kaavioissa on tukeuduttu keskiarvoihin ja yleisiin arvioihin, mikä johtaa vain suuntaa antaviin tuloksiin. Työssä olisi voinut hyödyntää kirjallisuutta ja teoriaa vielä syvemmin, mutta tässä esisuunnittelua varten tehdystä selvityksessä laajuus ja tarkkuustaso on kuitenkin todettu riittäväksi.

Kaiken kaikkiaan selvityksen tulokset ovat positiivisia ja niitä voidaan käyttää esisuunnittelussa ja prototyyppin tekemisessä. Jatkotutkimuksissa voisi tehdä molemmista laitekombinaatioista prototyyppit ja mitata laitteen akustojen ja muiden komponenttien häviöt. PKE-laitteen tuotannollistaminen ja valmistaminen päätetään tämän ja mahdollisesti myöhemmin tehtävien tarkempien selvitysten perusteella.

LÄHTEET

ADATO ENERGIA & TTS. 2011. Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2015-5-16]

Saatavissa: https://www.tem.fi/files/35856/Kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_raportti.pdf

BATTERY UNIVERSITY 2015. [Absorbent glass mat]. [Viitattu 2015-5-23]

Saatavissa: http://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent_glass_mat_agm

D1-2009. 2010. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista.

FINGAS AUTO. [maakaasun hinta ja verotus]. [Viitattu 2015-5-23]

Saatavissa: http://www.fingasauto.com/fi/biokaasun_ja_maakaasun_hinta_ja_verotus

IEEE Std 446-1995. 1996. Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York: IEEE.

ISOKANGAS, Panu. 2012. Omakotitaloon soveltuvat varavoimajärjestelmät. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2015-4-20]

Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/45264/isokangas_panu.pdf?sequence=1

KORHONEN, Ilkka. 2015-3-20. PKE-laitteen hahmotelma.

LANA, Andrey. 2008. Pienitehoisen CHP-laitoksen verkkoonliityntä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [Viitattu 2015-5-7]

Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/36588/nbnfi-fe200802131083.pdf?sequence=3>

LEHTO, Ina. 2009. Mikrotuotannon liittäminen yleiseen sähkönjakeluverkkoon. Diplomityö. Elektroteknikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta sähkötekniikan laitos. [Viitattu 2015-5-7]

Saatavissa:

http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon_liittaminen_verkkoon_diplomityo_2009_tkk_lehto.df_.pdf

LEPPÄNEN, Ari. 2008. Kattilalaitoksen varavoimajärjestelmä. Tampereen Teknillinen Yliopisto projektityö. [Viitattu 2015-5-15]

Saatavissa:

http://butler.cc.tut.fi/~repo/Opetus/Projektityot/Ari_Leppanen_Kattilalaitoksen_varavoimajarjestelma.pdf

MOTIVA 2015 a [Laskukaavat: Lämmin käyttövesi]. [Viitattu 2015-4-7]

Saatavissa:

http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

MOTIVA 2015 b [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2015-5-20]

Saatavissa:

http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaaostokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf

OKSAHARJU, Marjo. 2014. Tutkimus uusien omakotitalojen energiankulutuksesta. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2015-4-25]

Saatavissa:

http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/80150/Oksaharju_Marjo.pdf?sequence=1

RANTULA, Sami 2015-5-20. Senior Development Manager Leclanche S.A. [Puhelinkeskustelu]

SALO, Jussi. 2011. Varavoimapaalvelun kehittäminen. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2015-5-10]

Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36937/Salo_Jussi.pdf?sequence=1

SALORANTA, Kirsi. 2011. Tuulivoimalan suojauskysymyksiä. AMK-opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2015-5-6]

Saatavissa:

http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27242/Saloranta_Kirsi.pdf?sequence=1

SANTALA, Sanna. 2011. Oma energiantuotanto ja sen liittäminen kiinteistöjen sähköverkkoihin. Opinnäytetyö. AMK-opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2015-5-9]

Saatavissa:

http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/30981/Santala_Sanna.pdf?sequence=2

SFS-käsikirja 600-1. SFS 6000-5-55, 551.2.3, s.327. Sesko OY. 1. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto

SFS-käsikirja 600-1. SFS 6000-5-55, 551.4, s.327. Sesko OY. 1. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto

SFS-käsikirja 600-1. SFS 6000-5-55, 551.7.1, s.329. Sesko OY. 1. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto

SFS-käsikirja 600-1. SFS 6000-8-801, 801.551, s.566. Sesko OY. 1. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto

SOLARPOVER. [Verkkosivu]. [Viitattu 2015-5-18]

Saatavissa: <http://www.solarpower.fi/products.php?p=4562e3>

ST-käsikirja 30. Sähkötekniä taulukoita. 2010

VATTENFALL 2015. [Sähkönkulutus omakotitalossa]. [Viitattu 2015-4-7]

Saatavissa: <http://www.vattenfall.fi/fi/omakotitalo.htm>